



Beleuchtung

Gutes Licht im Minergie-Gebäude

Inhalt

Effizienz und Komfort	4
Licht verstehen	6
Lichtmarkt und Sparpotenzial	7
Die LED-Transformation	8
LED-Retrofit-Leuchtmittel	9
Minergie-Leuchten	10
Licht im Raum	12
Beispiel: Schulhaus Bläsi	15
Weitere Infos	18

Impressum

Herausgeber

Minergie Schweiz

Produktion

Inhalt: Stefan Gasser, elight GmbH, Zürich

Redaktion: Sandra Aeberhard, Faktor
Journalisten AG

Grafik: Christine Sidler, Faktor Journalis-
ten AG, Zürich

Druck: Birkhäuser+GBC AG, Reinach

Titelbild: Palazzo del Cinema di Locarno,
Locarno, TI-480; Architektur: AZPML-DFN
(London, Lugano), Foto: Giorgio Marafioti



Gutes Licht mit weniger Strom

Minergie setzt sich für mehr Komfort bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch ein. Was für das Raumklima seit 20 Jahren das Erfolgsrezept von Minergie ist, lässt sich auch auf das Raumlicht anwenden: eine effiziente Beleuchtung, die ein helles und angenehmes Licht schafft, nicht blendet und möglichst viel Tageslicht nutzt – das ist die Minergie-Anforderung an die Beleuchtung. Mit der derzeitigen Transformation zur LED-Technik besteht die Herausforderung für Bauherren, Planer und Architekten darin, im Dschungel der Produkte und Gestaltungsmöglichkeiten die richtige Lichtlösung zu finden – Minergie gibt klare Qualitätsstandards vor.

Effizienz und Komfort

Dank der hocheffizienten LED-Technologie ist es relativ einfach, eine effiziente Beleuchtung zu installieren. Anspruchsvoller ist es hingegen, eine qualitativ hochwertige und blendfreie Beleuchtung zu realisieren. Der Anspruch von Minergie ist es, all diese Anforderungen zu erfüllen. Der Energieverbrauch einer Raumbelichtung wird durch die Leistung der installierten Leuchten und deren Betriebszeiten bestimmt. Beide Grössen unterliegen verschiedenen Einflussfaktoren. Die meisten sind sowohl für die Energieeffizienz als auch für den Lichtkomfort relevant – und stehen teilweise im Widerspruch zueinander. Die sechs wichtigsten Einflussfaktoren sind in der nebenstehenden Abbildung illustriert und nachstehend beschrieben.

Effiziente Leuchten

Die effizientesten Leuchten erreichen heute (2018) Lichtausbeuten von rund 160 Lumen pro Watt – das ist 10-mal mehr als bei einfachen Glühlampen. Hohe Effizienz hat allerdings ihren Preis, denn in Räumen mit erhöhten Beleuchtungsanforderungen sind gute Entblendung, präzise Lichtführung und hohe Farbwiedergabe wichtig. Diesen Anforderungen gerecht zu werden, kann die Energieeffizienz der eingesetzten Leuchten deutlich mindern. Eine fix definierte Minimalanforderung an die Energieeffizienz von Leuchten, ohne Berücksichtigung der Beleuchtungsaufgabe, ist nicht sinnvoll.

Helle Räume

Die Reflexionseigenschaft eines Raumes, also die Wahl von Materialien und Farben, beeinflusst die benötigte Leistung der Beleuchtung. Helle Farben und glatte Oberflächen wirken sich positiv auf die Energiebilanz aus. In einem Raum mit dunkler Farbe oder Sichtbetonwänden und -decken kann sich der Energiebedarf

gegenüber einer hellen Gestaltung schnell verdoppeln. Anschauliches Beispiel ist der Hauptbahnhof Zürich mit dem neuen, hellen Durchgangsbahnhof gegenüber dem dunklen S-Bahnhof Museumsstrasse.

Grosse Fenster

Je grösser die Fenster eines Raumes, desto mehr Tageslicht dringt ein – mit positiven Auswirkungen auf den Energieverbrauch der künstlichen Beleuchtung. Diese Aussage gilt auch für Räume ohne Lichtregelung: Messungen belegen, dass auch in manuell geschalteten Räumen das Kunstlicht deutlich kürzere Betriebszeiten aufweist. Wichtige Aspekte bei der Befensterung: hohe Transmissionsgrade (> 80 %), möglichst keine Sonnenschutzgläser, wo möglich Oberlichter vorsehen (bringen bis zu 100 % mehr Tageslichtnutzung als seitliche Fenster). Fenster bis zum Boden bringen hingegen keinen zusätzlichen Tageslichtnutzen. Grosse Fenster können den Heizenergiebedarf erhöhen und im Sommer zu Überhitzung führen. Die damit eventuell nötige Kühlung ist sehr energieaufwendig.

Geringe Verbauung

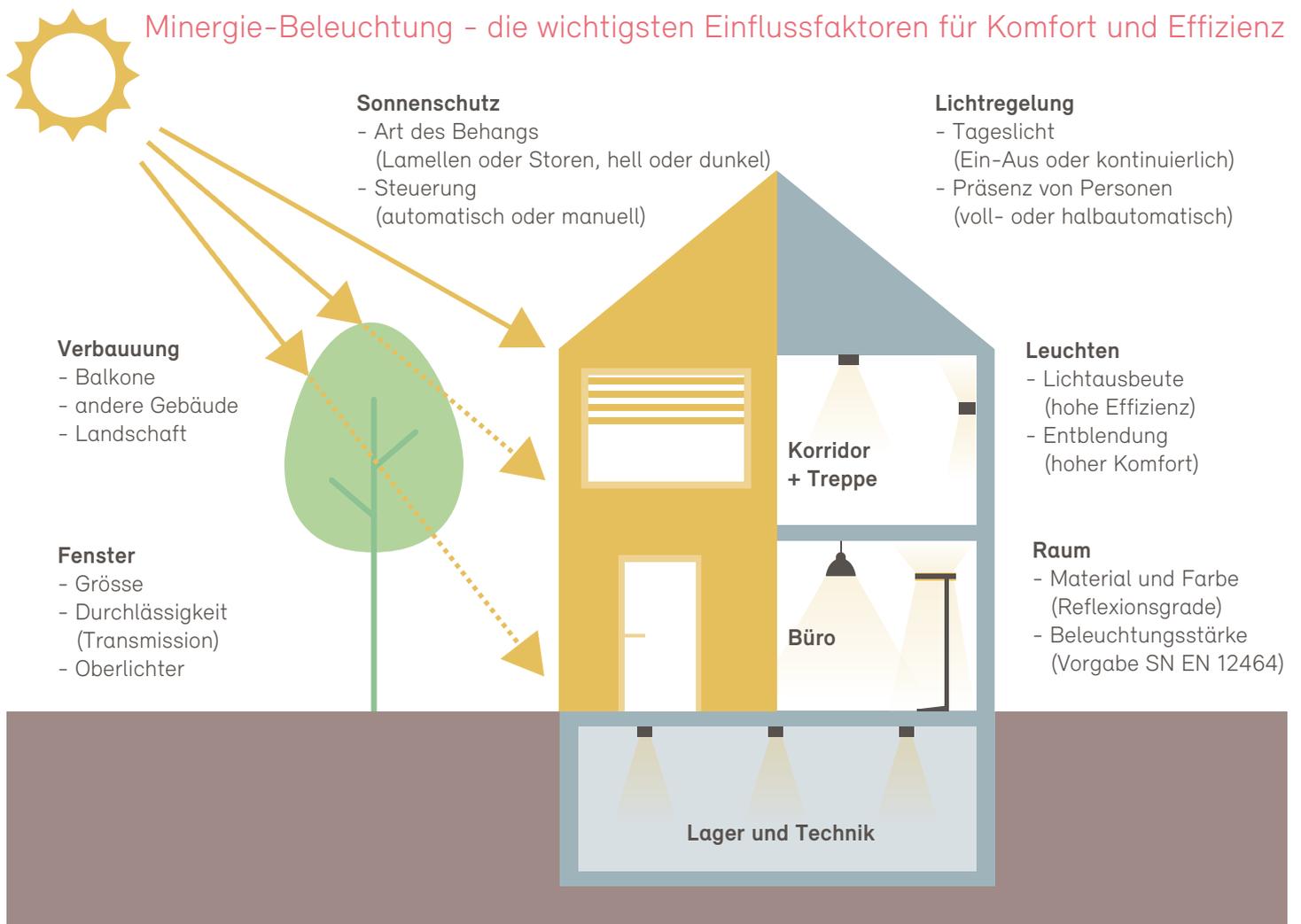
Nahe stehende Gebäude, Bäume und Berge beeinflussen die Nutzung des Tageslichtes in Gebäuden stark. Weil eine Bauherrschaft auf solche Verbauungen selten Einfluss nehmen kann, ist eine generelle Energieanforderung an die Beleuchtung nicht möglich. Die Anforderungen von Minergie tragen diesem Umstand Rechnung und definieren individuelle, den Möglichkeiten angepasste Grenzwerte für die Beleuchtung.

Optimaler Sonnenschutz

Mit Blick auf eine effiziente Beleuchtung kann man sagen: Der beste Sonnenschutz ist kein Sonnenschutz! Unter Berücksichtigung der Komfortfrage stimmt diese Aussage allerdings nicht, denn es drohen Blendung und Überhitzung. Optimalen Sonnenschutz bieten beispielsweise helle und bewegliche Lamellen. Diese lenken das Tageslicht bei Schrägstellung in den hinteren Teil des Raumes. Eine Regulierung führt die Stellung der Lamellen nach dem Sonnenstand und optimiert so diese Lenkung. Optisch dezentere Sonnenschutzlösungen verursachen leider oft auch höhere Energieverbräuche bei der künstlichen Beleuchtung.

Lichtregelung

Lichtregelungen werden über Sensoren bedient. In der Praxis kommen meistens kombinierte Tageslicht- und Präsenzmelder (PIR) zum Einsatz. Physikalisch gesehen ist diese integrierte Lösung nicht optimal, da Tageslicht und Personenbewegung an unterschiedlichen Punkten detektiert werden müssten. Wesentlich für die Effektivität von Sensoren und Regelung ist die korrekte Justierung bei der Inbetriebnahme. Anforderungen an eine gute Lichtregelung: Erfassungsbereiche der Sensoren gut planen, Sensoren korrekt in Betrieb nehmen und Abschaltverzögerungen minimieren (von 15 Minuten auf 2 bis 5 Minuten).



Licht verstehen

Licht ist physikalisch gesehen eine elektromagnetische Welle. Im Frequenzband aller Strahlungsquellen reiht sich das Licht zwischen den Röntgenstrahlen (oberhalb der Ultraviolettstrahlung) und den Micro- bzw. Radiowellen (unterhalb der Infrarotstrahlung) ein. Weisses Licht setzt sich aus den verschiedenen Lichtfarben zusammen. Im Prisma oder beim Regenbogen werden die einzelnen Farben sichtbar: Das Spektrum reicht von Violett über Blau, Grün, Gelb, Orange bis zu Rot, stets in derselben Reihenfolge. Über 90 % unserer Wahrnehmungen erfolgen über das Auge. Für das Erkennen der Umgebung und für die Orientierung benötigen wir Licht. Von der Erfassung eines Gegenstands bis zur Wahrnehmung und Wirkung des Lichts läuft im menschlichen Kopf ein komplexer Prozess ab:

- Objekt: Voraussetzung für das Sehen ist ein beleuchtetes Objekt
- Sehen: Das Auge erstellt ein spiegelverkehrtes Bild auf der Netzhaut mit 130 Megapixel
- Wahrnehmen: Echtzeit-Übertragung des Bildes zum Hirn, Speicherung und Verarbeitung
- Assoziation: Abgleich des Bildes mit andern gespeicherten Bildern und Interpretation
- Biologische Wirkung: Beeinflussung von Stoffwechsel und Hormonhaushalt

Beachtliche Leistung

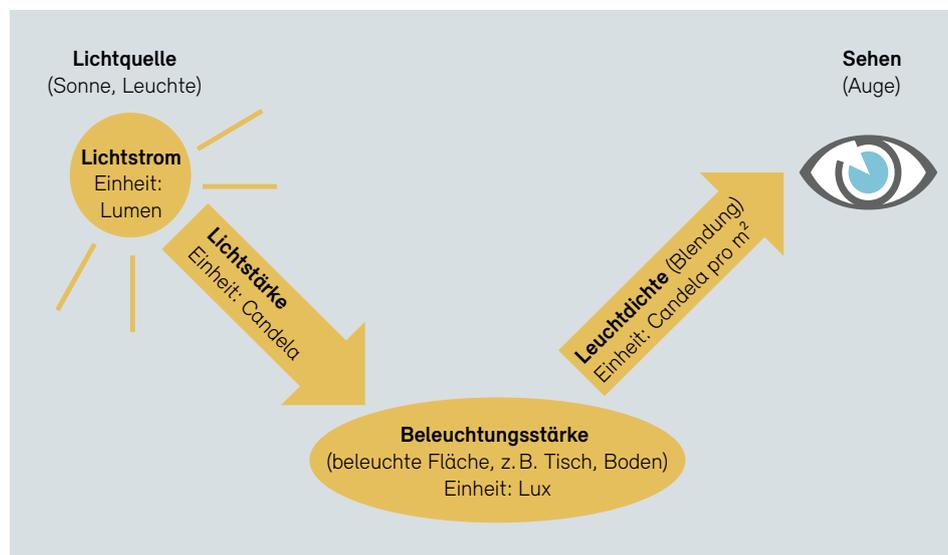
Die Leistungsfähigkeit unseres Auges und des angeschlossenen «Rechenzentrums» im Hirn ist beachtlich: Im Gegensatz zur besten digitalen Fotokamera können wir beispielsweise einen Helligkeitsumfang von 1 zu 1 Million (schwaches Mondlicht bis volles Sonnenlicht) in Echtzeit verarbeiten (Tabelle 1).

Wenn wir im Alltag mit Licht zu tun haben, eine Lampe oder eine Leuchte kaufen, eine Beleuchtung planen, Tageslicht nutzen oder uns davor schützen, dann benötigen wir vier verschiedene physikalische Grössen zur Bemessung und Beurteilung:

- Lichtstrom (Lumen): nicht gerichtete Lichtmenge einer Lichtquelle
- Lichtstärke (Candela): gerichtetes Licht
- Beleuchtungsstärke (Lux): Bemessungsgrösse z. B. für Arbeitsplätze
- Leuchtdichte (Candela pro m²): Blendung durch Lichtquelle oder eine reflektierende Fläche

Tabelle 1: Beleuchtungsstärken in verschiedenen Situationen

Volles Sonnenlicht	100 000 Lux
Trüber Tag	20 000 Lux
Büro Arbeitsplatz	500 Lux
Wohnzimmer	100 Lux
Schwaches Mondlicht	0.1 Lux



Zusammenspiel der vier lichttechnischen Grössen.

Lichtmarkt und Sparpotenzial

Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Elektrizitätsverbrauch der Schweiz beträgt 12,4%, allein im Jahr 2016 waren das 7200 GWh. Es können drei Lichtmärkte unterschieden werden:

- Industrie und Dienstleistung: 71%
- Haushaltbeleuchtung: 19%
- Öffentliche Beleuchtung: 10%

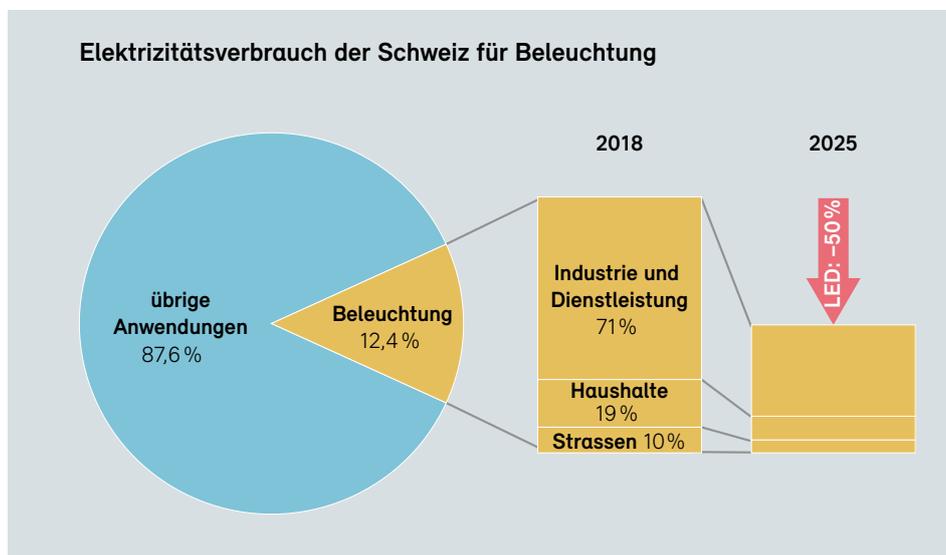
Entgegen der intuitiven Erwartung verbrauchen die Haushalte und die öffentliche Beleuchtung relativ wenig Energie. Die Hauptmenge fließt in die Industrie und in die Dienstleistungsbetriebe (Büros, Schulen, Verkauf, Spitäler etc.), wobei der Verkaufssektor allein rund ein Drittel davon ausmacht.

Der Technologiewechsel zu LED birgt ein enormes Sparpotenzial. Experten gehen davon aus, dass durch den sukzessiven Ersatz bisheriger Leuchtmittel (insbesondere Leuchtstoff- und Halogenlampen) durch LED und den Einsatz von geeigneter Lichtregulierung bis zum Jahr 2025 der Beleuchtungsanteil halbiert wird. Damit lässt sich bis zu 6% des gesamten schweizerischen Stromverbrauchs einsparen – die Hälfte der Energieproduktion des Kernkraftwerks Gösgen.

Grosses Potenzial

Für fast alle Beleuchtungsanwendungen stehen heute LED-Ersatzprodukte zur Verfügung. Bei Neuinstallationen ist aber eine grosse Diskrepanz zwischen professionellen Anwendungen (Dienstleistung und Industrie) und Anwendungen in Haushalt und Kleingewerbe festzustellen: Während die meisten professionellen Beleuchtungen mit LED bestückt werden, ist in Haushalt und Kleingewerbe noch immer jede zweite neue Lampe eine Halogenlampe.

In keinem anderen Energieverbrauchssektor lässt sich zurzeit so viel Energieeffizienz realisieren wie bei der Beleuchtung. Im Jahre 2016 waren bereits knapp 16% aller Beleuchtungsanlagen mit LED bestückt. Die Abnahme des Gesamtelektrizitätsverbrauchs der Schweiz dürfte massgeblich auf die Erfolge bei der Beleuchtung zurückzuführen sein. Solche Einsparerfolge sind allerdings nicht selbstverständlich. Die vielen Möglichkeiten der LED-Technik bringen auch neue Begehrlichkeiten. Beleuchtete Fassaden und erhellte Kleiderschränke werden immer häufiger – ein Rebound-Effekt stellt sich ein. Daher müssen Überlegungen angestellt werden, wie dem Rebound-Effekt begegnet werden kann.

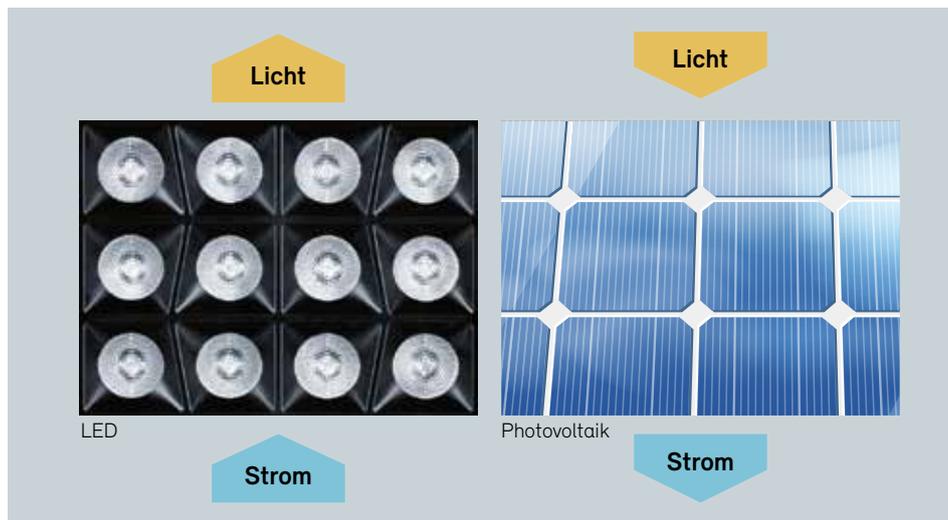


Elektrizitätsverbrauch der Schweiz für die Beleuchtung (100% = 58 000 GWh/a).

Die LED-Transformation

Die klassische Glühlampe wurde von Thomas Edison um 1880 zur Marktreife gebracht. Sie hat sich – später in der weiterentwickelten Halogenlampe – bis zum heutigen Tag gehalten. Um 1930 kam die Leuchtstofflampe (auch Neonröhre genannt) auf den Markt. Fast alle Lampen, die bis zum Jahr 2000 Verwendung fanden, waren entweder Formen von Glühlampen (Temperaturstrahler) oder von Leuchtstofflampen (Entladungslampen). Vor knapp 20 Jahren waren die ersten (weissen) LED-Lampen erhältlich und damit eine ganz neue Art der Lichterzeugung.

Damals ein teures Nischenprodukt, ist LED heute zum Stand der Technik geworden. Die Effizienz ist zehnmal höher als die von Glühlampen und doppelt so hoch wie bei Leuchtstofflampen. Die Preise sind stark gesunken, während die Lichtqualität mittlerweile hoch ist. Physikalisch gesehen ist die LED-Lampe die Umkehrung der Solarzelle. Während bei Letzterer Licht auf eine Halbleiterscheibe fällt und in elektrischen Gleichstrom umwandelt wird, erzeugt der LED-Halbleiter Licht, wenn man elektrischen Gleichstrom zuführt.



Photovoltaik und LED-Technik sind physikalische Verwandte.

Tabelle 2: Kenndaten der drei Leuchtmittel-Technologien im Vergleich

	Glühlampen	Leuchtstofflampen	Leuchtdioden LED
Physikalisches Prinzip	Glühender Draht (Sonne)	Kontrollierte Entladung (Gewitter)	Halbleiterprozess (Elektronik)
Effizienz (lm/W)	10 bis 20	40 bis 100	80 bis 160
Lebensdauer (Std.)	1000 bis 2000	3000 bis 15 000	15 000 bis 100 000
Farbwiedergabe	Sehr gut	Mittel	Gut
Farbspektrum	Kontinuierlich (hoher Rotanteil)	Partiell (einzelne Farben)	Kontinuierlich (Spitze im Blau)
Farbtemperatur	Warmweiss	Warm-, Neutral-, Tageslichtweiss	Alle Weisstöne, auch modulierbar
Inhaltsstoffe (Auswahl)	Glas, Wolfram, Eisen → Haushaltsmüll	Glas, Kunststoff, Leuchtstoff, Quecksilber, Elektronik → Sondermüll	Glas, Kunststoff, Phosphor, Seltenerdmetalle, Elektronik → Elektroschrott
Risiken	Überhitzung und Brandgefahr, hoher Energieverbrauch	Mindere Lichtqualität, elektromagnetische Strahlung, Quecksilber	Blaulichtanteil, Seltenerdmetalle, Rebound-Effekt
Zukunft	Nischenprodukt	Mittelfristig keine	Mittelfristig dominant

LED-Retrofit-Leuchtmittel

Bei den meisten neuen LED-Leuchten sind Lampe (Leuchtmittel) und Lampenschirm fest miteinander verbunden – der Ersatz eines defekten Leuchtmittels ist auf einfache Weise nicht möglich. Für bestehende Leuchten gibt es eine Alternative zu den Komplett-LED-Leuchten, sogenannte Retrofit-LED-Lampen. Das sind LED-Lampen in Form von Glühlampen, Spotlampen oder auch Leuchtstoffröhren.

Bei dimmbaren Varianten muss Folgendes beachtet werden:

- Nur ausdrücklich gekennzeichnete Lampentypen sind dimmbar.
- Ältere Glühlampen-Dimmer sind zum Teil nicht kompatibel mit neuen LED-Lampen.
- Die typische Rotfärbung des Lichts beim Dimmen von Halogenlampen wird mit LED-Lampen mit der Bezeichnung «Warm-Dim» erreicht.

Die Glühlampe ist zurück – mit LED-Fäden



Als energieeffiziente Alternative zur Glühlampe und Halogenlampe steht mit der LED-Fadenlampe heute ein Leuchtmittel zur Verfügung, das sich äusserlich kaum von einer Glühlampe unterscheidet und eine Energieeinsparung von bis zu 90% bringt. Bei allen Leuchten mit den üblichen Sockeln «E14» und «E27» können LED-Fadenlampen als Ersatz für Glühl-, Halogen- und Sparlampen eingesetzt werden.

Spots – Dimmbarkeit überprüfen



Im Haushalt, aber auch in Gewerbebetrieben sind Hochvolt- oder Niedervolt-Halogenspotlampen im Einsatz. Ein Ersatz durch LED-Retrofit-Lampen ist insbesondere im Gewerbe äusserst wirtschaftlich.

Tubes – für Verkehrsflächen und Nebenräume

Als Ersatz für Leuchtstoffröhren können sogenannte LED-Tubes verwendet und in bestehende Armaturen eingeklickt werden. Weil das Licht der LED-Tubes meist nicht rundum, sondern einseitig abgestrahlt wird, verändert sich das beleuchtete Erscheinungsbild des Raumes. Dies bringt eine zusätzliche Effizienzsteigerung mit sich, weil kein unnötiges Licht direkt gegen die Decke gelenkt wird. Die Empfehlung für LED-Tubes hängt von der Raumnutzung ab:

- **Empfohlen** in Garagen, Verkehrsflächen, Lager und einfachen Produktionshallen.
- **Nicht empfohlen** in Räumen mit erhöhten Anforderungen an den Sehkomfort, z. B. Büros, Schulzimmer, Spitäler, Verkaufslöke, Produktion.



Tabelle 3: LED-Retrofit-Lampen im Überblick

	Faden-LED	LED-Spot	LED-Tubes
Leistung	6,5 W	4,3 W	15 W
ersetzt	60 W (Glühlampe)	50 W (Halogen)	36 W (Leuchtstoff)
Lichtstrom	806 lm	350 lm	2400 lm
Energieeffizienz	124 lm/W	81 lm/W	160 lm/W
Einsparung	- 89%	- 91 %	- 58%
Effizienzklasse	A++	A+	A++
Farbtemperatur	2700 K	2700 K	4000 K
Lebensdauer	> 15 0000 h	> 15 0000 h	> 30 0000 h
Preis	< 10 Fr.	< 10 Fr.	15 bis 50 Fr.

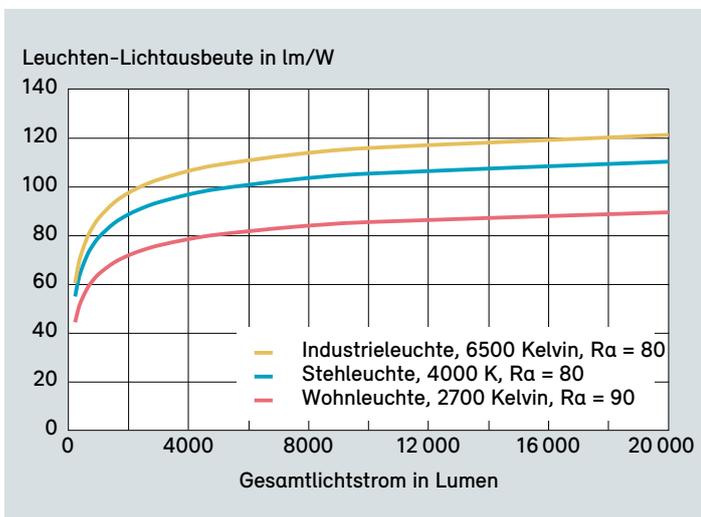
Minergie-Leuchten

Wer eine qualitativ hochstehende Beleuchtung installiert, wählt zumeist eine Leuchte, in der alle Komponenten (LED, Lichtoptik, Gehäuse, Elektronik) optimal aufeinander abgestimmt sind. Allerdings ist der Ersatz einzelner Teile im Falle eines Defekts nicht mehr so einfach wie bei Halogen- und Leuchtstofflampen. Die Lebensdauer einer guten LED-Leuchte ist sehr hoch und liegt heute bei durchschnittlich 50 000 Stunden – rechnet man mit einer jährlichen Brenndauer von 2000 Stunden, macht dies 25 Jahre. Beim Kauf einer neuen LED-Leuchte ist wichtig, auf gute Qualität zu setzen. Minergie hat bereits vor zehn Jahren ein Modul geschaffen – gemeinsam mit der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. und der Industrie. Ziel dieses Modul-Labels ist neben Energieeffizienz die hohe Qualität der Leuchten.

Qualitätskriterien

- Hersteller mit nachgewiesenem Qualitätsstandard
- Leuchten mit Messungen in akkreditierten Labors (gemäss EN ISO/IEC 10025)
- Einheitliche, vollständige Darstellung aller relevanter Leuchtenkennwerte (insbesondere Lichtverteilungskurve und Entblendung)

Effizienzanforderungen in Abhängigkeit des Lichtstroms für drei beispielhafte Leuchtentypen.



- Hohe Lebensdauer (> 50 000 Stunden)
- Hohe Energieeffizienz (abgestuft nach Anwendungen)
- Geringer Standby-Verbrauch (< 0,5 W)

Effizienzanforderungen im Wandel

Die Anforderungen an die Energieeffizienz der Minergie-Leuchten wurden entsprechend der technischen Entwicklung angepasst. 2007 lagen die Anforderungen je nach Lampen- und Leuchtentyp zwischen 50 und 70 lm/W – die beste Leuchte war mit 84 lm/W gelistet. Durch den Technologiewandel zu LED stieg die Effizienz markant an: 2018 liegt die Lichtausbeute der besten Minergie-Leuchte bei 169 lm/W. Es ist aber nicht ausschliesslich eine hohe Effizienz, die angestrebt werden soll. Je nach Typologie variieren die sinnvollen Mindestwerte massiv – bei den aktuellen Minergie-Leuchten zwischen 50 und 120 lm/W. Folgende Faktoren bestimmen die Effizienzanforderung:

- Lichtstrom (Lumen): je höher, desto höher die mögliche Effizienz
- Farbwiedergabe (Ra): je höher, desto geringer die mögliche Effizienz
- Farbtemperatur (Kelvin): je wärmer, desto geringer die mögliche Effizienz

Leuchtenliste auf toplight.ch

Unter www.toplight.ch/minergie/leuchtenliste ist die Liste aller derzeit zertifizierten Minergie-Leuchten zu finden. Die mehreren Hundert Leuchten stammen von rund einem Dutzend verschiedenen Herstellern aus der Schweiz, aus Österreich und Deutschland. Von jeder Leuchte kann das standardisierte Datenblatt und die Messdatei (ldt) heruntergeladen werden, letztere lässt sich direkt in der Planungssoftware Relux Desktop verwenden (Download unter www.relux.com). Die Leuchten können nach diversen Auswahlkriterien gefiltert und verglichen werden.

Auswahl von Minergie-Modul-Leuchten

Marke:
 Regent Lighting
 Modell:
 Matrix led
 Leuchtentyp:
 Strahler/Spot
 Leistung:
 29 W
 Lichtstrom:
 3400 lm
 Lichtausbeute:
 117 lm/W
 Zertifikat:
 Re-0112



Marke:
 Zumtobel
 Modell:
 Panos infinity
 Leuchtentyp:
 Downlight
 Leistung:
 16 W
 Lichtstrom:
 2000 lm
 Lichtausbeute:
 121 lm/W
 Zertifikat:
 Zu-0607



Marke:
 Waldmann
 Modell:
 Ataro led
 Leuchtentyp:
 Pendelleuchte
 Leistung:
 61 W
 Lichtstrom:
 6624 lm
 Lichtausbeute:
 109 lm/W
 Zertifikat:
 Wa-0031



Marke:
 S-TEC
 Modell:
 Eigerlight pilatus
 Leuchtentyp:
 Deckenanbauleuchte
 Leistung:
 61 W
 Lichtstrom:
 7395 lm
 Lichtausbeute:
 121 lm/W
 Zertifikat:
 S-Tec-0007



Marke:
 Zumtobel
 Modell:
 Craft
 Leuchtentyp:
 Industrielleuchte
 Leistung:
 185 W
 Lichtstrom:
 25 000 lm
 Lichtausbeute:
 135 lm/W
 Zertifikat:
 Zu-0737



Marke:
 Zumtobel
 Modell:
 Amphibia
 Leuchtentyp:
 Nassraumleuchte
 Leistung:
 41 W
 Lichtstrom:
 6390 lm
 Lichtausbeute:
 155 lm/W
 Zertifikat:
 Zu-0750



Marke:
 Baltensweiler
 Modell:
 Fez
 Leuchtentyp:
 Wohnleuchte
 Leistung:
 35 W
 Lichtstrom:
 3187 lm
 Lichtausbeute:
 92 lm/W
 Zertifikat:
 Ba-0009

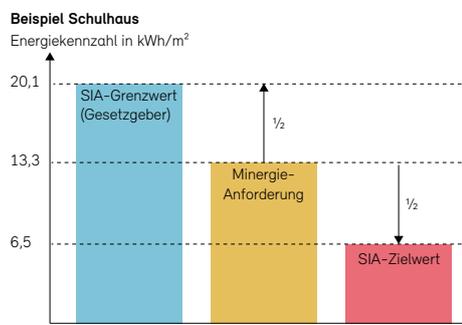


Marke:
 Neuco
 Modell:
 Eco b
 Leuchtentyp:
 Stehleuchte
 Leistung:
 83 W
 Lichtstrom:
 12 950 lm
 Lichtausbeute:
 157 lm/W
 Zertifikat:
 Ne-0091



Licht im Raum

Die Norm SIA 387/4 (Elektrizität im Gebäude – Beleuchtung) beschreibt das Verfahren zur Berechnung des Energiebedarfs für die Beleuchtung und definiert Anforderungen in Form von Grenz- und Zielwerten. Während der Gesetzgeber (MuKEN 2014) die Einhaltung des Grenzwertes verlangt, muss in Minergie-Bauten der Mittelwert zwischen Grenz- und Zielwert eingehalten werden. Die Minergie-Anforderung liegt je nach Gebäude im Schnitt 30 % unter dem SIA-Grenzwert.



Geltungsbereich

(Minergie-Reglement 2018)

- Alle Baustandards Minergie
- Alle Gebäudekategorien
- Neubauten und Erneuerungen

In bestimmten Fällen kann auf die Berechnung des Energiebedarfs nach SIA 387/4 verzichtet werden. Dann werden im Minergie-Nachweis-Formular Standardwerte für die Beleuchtung eingesetzt.

- Wohnbauten
- Zweckbauten mit Energiebezugsfläche unter 250 m²
- Umnutzung von Wohnbauten zu Zweckbauten mit mobiler Beleuchtung
- Erneuerungen ohne Beleuchtungsersatz

Energienachweis

Zur Erstellung des Energienachweises sind folgende Unterlagen nötig:

- Grundrisspläne (mit Leuchtenstellen und Lichtsensoren) und Schnittzeichnungen

- Leuchtenliste (mit Typenbezeichnungen und Anschlussleistungen)
- Weitere Angaben zu Raumhelligkeit, Fenstern (Fläche und Transmission), Sonnenschutz (Art, Farbe und Regelung)

Vorgehen und Berechnung

1. Einteilung des Gebäudes in Zonen

Je nach Nutzung variieren die Anforderungen an die Beleuchtungsstärke und die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung. Deshalb wird der Elektrizitätsbedarf im Gegensatz zum Wärmebedarf pro Zone separat ermittelt. Vor der Berechnung muss ein Gebäude in Zonen gleicher Nutzung eingeteilt werden. Um den Aufwand für die Berechnung in Grenzen zu halten, können Bereiche mit kleinem Energiebedarf zusammengefasst werden.

2. Berechnung des Projektwertes

Die Summe der Leistungen der eingesetzten Leuchten und deren Brennzeiten (Volllaststunden) ergeben den Energiebedarf pro Zone. Die Summe aller Energie- und Leistungswerte ergibt den Gesamtenergie- und Leistungsbedarf eines Gebäudes. Die notwendigen Leistungen werden durch die Lichtplaner ermittelt. Für die Betriebsstunden stellt die Norm SIA 387/4 ein Berechnungsverfahren zur Verfügung.

3. Vergleich mit Anforderungen

Analog zur Bedarfsberechnung werden auch die Anforderungen (SIA-Grenz- und Zielwert bzw. Minergie) aufgrund der Nutzungsbedingungen für jede Zone einzeln berechnet. Die flächengewichtete Hochrechnung auf das ganze Gebäude ergibt die Gesamtanforderung. Diese ist für jedes Gebäude individuell. Zu beachten: Die SIA-Norm berechnet den Energiebedarf ohne Gewichtung und bezogen auf die beleuchtete Nettofläche. Für Minergie sind eine Umrechnung auf gewichtete Werte und der Bezug auf die Energiebezugsfläche notwendig.

1. Einteilung des Gebäudes in Zonen

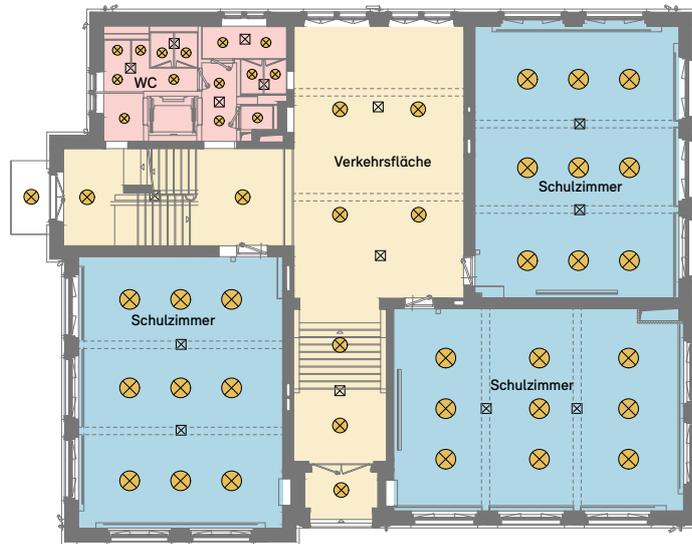
Schulhaus Bläsi
Grundriss EG

Nutzungen

- Schulzimmer
- Verkehrsfläche
- WC / Putzraum

Leuchten

- Leuchte A
- Leuchte B
- Leuchte C
- Lichtsensoren



2. Berechnung des Projektwertes

Nutzung	Netto-Fläche m ²	Leistung kW	Volllaststunden h/a	Energiebedarf kWh/a
Schulzimmer	1215	5,7	1016	5800
Verkehrsfläche	561	1,7	632	1100
Nebenräume	437	1,0	937	900
Lehrerzimmer	102	0,4	669	300
Garderoben	78	0,2	884	200
WC	64	0,7	533	400
Büro	84	0,5	884	400
Bibliothek	26	0,2	2215	400
Küche	30	0,5	1250	600
Gesamtergebnis	2597	10,9	922*	10 100

* Quotient aus Energiebedarf und Leistung

3. Vergleich mit Anforderungen

Nutzung	Netto-Fläche m ²	Projektwert kWh/m ²	SIA-Grenzwert kWh/m ²	Minergie kWh/m ²
Schulzimmer	1215	4,8	18,3	12,4
Verkehrsfläche	561	2,0	5,7	3,4
Nebenräume	437	2,1	5,7	3,5
Lehrerzimmer	102	2,9	10,8	6,9
Garderoben	78	2,6	7,7	5,1
WC	64	6,2	10,9	7,0
Büro	84	4,8	21,5	13,7
Bibliothek	26	15,5	11,6	7,8
Küche	30	20,0	6,7	4,2
Gesamtergebnis	2597	3,9	12,6	8,3

Typische Anforderungswerte

Die Anforderungen in der Norm SIA 387/4 werden zonenweise definiert und auf das ganze Gebäude hochgerechnet. Viele, insbesondere einfachere Gebäude, unterscheiden sich aber wenig bezüglich Ausstattung und Nutzungsbedingungen. Unter der Annahme definierter Konfigurationen können typische Energiekennzahlen Beleuchtung für alle 12 Gebäudekategorien berechnet werden.

Die Balkengrafik zeigt Energiekennzahlen für den SIA-Grenzwert (gesetzliche Anforderungen nach MuKEN 2014) sowie die Anforderungen für Minergie-Gebäude, bewertet mit dem Stromfaktor 2 und bezogen auf die Energiebezugsfläche (Annahme: Energiebezugsfläche = beleuchtete Nettogröße mal 1,25).

verwendet werden. ReluxEnergyCH eignet sich für mittlere und grössere Objekte sowie für Planer, die häufig Beleuchtungssimulationen durchführen. Die kostenpflichtige Windows-Software (Deutsch, Französisch) kann unter www.relux.com heruntergeladen werden.

Lighttool

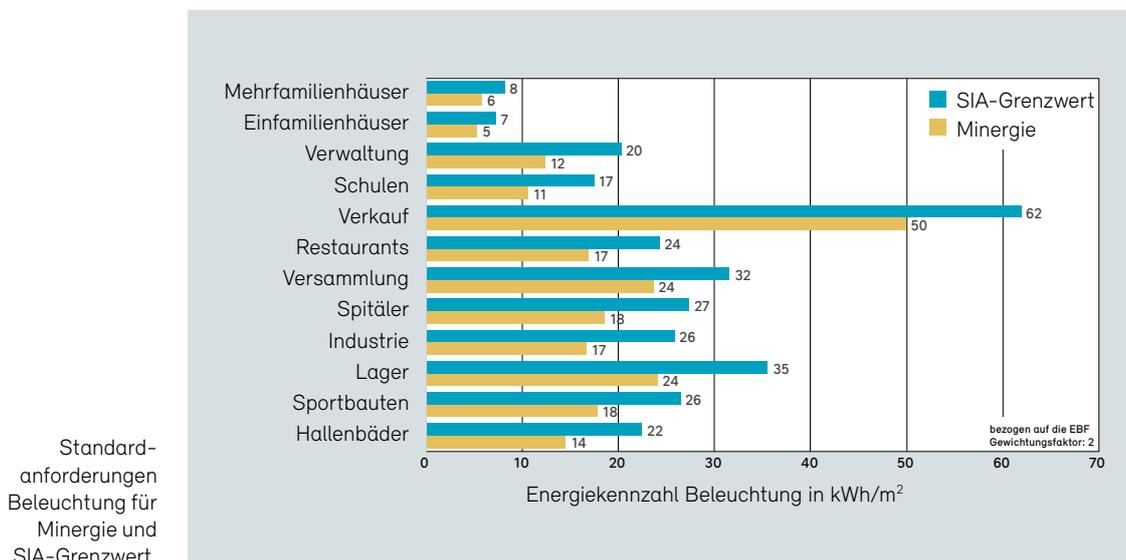
Anfang 2019 steht auf www.lighttool.ch ein kostenloses Online-Tool für den Energienachweis zur Verfügung. Dieses eignet sich für einfachere Projekte sowie für Planer, die nur ab und zu einen Beleuchtungsnachweis erstellen müssen. Die Berechnung des Lighttools folgt exakt der SIA-Norm. Durch die Standardisierung gewisser Nutzungsbedingungen wird die Handhabung aber deutlich vereinfacht. Sprachen: Deutsch, Französisch und Italienisch.

Rechentools

Für die Berechnung des Energiebedarfs und den Vergleich mit den Anforderungen stehen Software-Tools zur Verfügung:

ReluxEnergyCH

Wenn die Beleuchtungsplanung mit Relux Desktop durchgeführt wird, können die Daten direkt durch die Exportfunktion im Energienachweis (SIA 387/4 und Minergie)



Beispiel: Schulhaus Bläsi

Die Stadt Zürich setzt die Beleuchtung in den öffentlichen Bauten (Neu- und Umbauten) grundsätzlich nach dem Minergie-Standard um, auch wenn eine Zertifizierung des ganzen Gebäudes aufgrund denkmalpflegerischer Vorgaben nicht machbar ist. Die Einhaltung der Beleuchtungsanforderungen wird bei allen Gebäuden konsequent kontrolliert. Die Erneuerung des Schulhauses «Bläsi» ist ein gutes Beispiel hierfür. Das aus dem Jahre 1907 stammende Gebäude wurde 2015 total instandgesetzt und die Beleuchtung neu geplant und ausgeführt. Die neuen Leuchten sollten der originalen Schulzimmer-Beleuchtung mit abgependelten, rundlichen Deckenleuchten ähnlich sein, aber den heutigen Vorgaben an Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung und Entblendung entsprechen. Energetische Vorgabe für die Beleuchtung war der Minergie-Standard. Eine einwandfreie Inbetriebnahme von Leuchten und Sensorik sowie die anschließende Messung des Energieverbrauchs waren fester Teil der Beleuchtungserneuerung.

Erstellung Energienachweis

Bereits in einer frühen Planungsphase wurde der Energienachweis erstellt, im Verlaufe von Planung und Ausführung aktualisiert und nach der Inbetriebnahme auf den Stand der effektiv realisierten Anlage gebracht. Diese mehrfache Aktualisierung ist sinnvoll, wenn man die Optimierung der Beleuchtungsanlage anstrebt, entspricht allerdings bei vielen Bauprojekten nicht dem Standard. Der im vorangehenden Kapitel dargestellte Nachweis gibt die Betriebsphase des Schulhauses Bläsi wieder: Die Energiekennzahl des (realisierten) Projektwertes liegt mit $6,2 \text{ kWh/m}^2$ deutlich unter der Minergie-Anforderung von $13,3 \text{ kWh/m}^2$ – die konsequente Optimierung hat es möglich gemacht.

Inbetriebnahme Leuchten

Das Gebäude ist zu einem grossen Teil mit Pendelleuchten des Typs «Arno» der Firma Licht+Raum AG ausgerüstet. Mit einer elektrischen Leistung von 83 W und



Aussenansicht des erneuerten Schulhauses Bläsi in Zürich-Höngg.

einem Lichtstrom von 7500 lm erreicht diese eine Leuchtenlichtausbeute von 90 lm/W – zu diesem Zeitpunkt ein sehr guter Wert. Mit heutiger Leuchtentechnik läge er bei 130 lm/W. Da die Positionierung der Leuchten architektonischen und lichttechnischen Gegebenheiten Rechnung tragen muss, ergeben sich je nach Raum stark variierende Beleuchtungsstärken. Durch die Ausrüstung mit dimmbaren Vorschaltgeräten konnte bei der Inbetriebnahme jede Leuchte individuell eingestellt werden, sodass die notwendige Beleuchtungsstärke entsprechend der Nutzung (Schulzimmer, Korridor, Lehrerzimmer, Mehrzweckraum) erreicht wird. Mit dieser Justierung konnte die installierte Leistung von 16,8 kW auf 10,9 kW gesenkt werden, was einer Energieeinsparung von 35 % entspricht.

Inbetriebnahme Sensoren

Im ganzen Gebäude sind kombinierte Tageslicht-Präsenzmelder installiert. In den Verkehrszonen (Korridore, WC, Nebenräume) funktionieren diese vollautomatisch: Das Licht löscht bei ausreichend Tageslicht beziehungsweise Absenz von

Personen automatisch ab und schaltet sich bei zu wenig Tageslicht oder Anwesenheit von Personen wieder ein. In den Schulzimmern ist die Beleuchtung halbautomatisch, das heisst nur die Abschaltung erfolgt mit der Regelung – die Einschaltung muss manuell vorgenommen werden.

Wesentlicher Effizienzfaktor ist die Abschaltverzögerung bei fehlender Personenpräsenz oder bei genügend Tageslicht. Während die Verzögerungszeit in den meisten Gebäuden 15 Minuten beträgt, wurde sie im Schulhaus Bläsi auf 5 Minuten reduziert. Die Einsparung liegt bei rund 20 %. Würde auf 2 Minuten reduziert, ergäben sich weitere 20 %!

Fazit Optimierung

Durch die Justierung der Leuchten auf die richtige Beleuchtungsstärke und die Einstellung der Lichtsensoren mit verkürzter Ausschaltverzögerung reduziert sich der Energieverbrauch für die Beleuchtung um über 50 % – im Schulhaus Bläsi von 13,3 kWh/m² auf 6,2 kWh/m². Messungen zeigten, dass die berechneten Werte auch in der Praxis realisiert werden.



Innenansicht eines Schulzimmers mit Pendelleuchten «Arno».

Kein Performance Gap!

Um die Beleuchtung auf ihren effektiven Energieverbrauch hin zu überprüfen, wurde ein separater Energiezähler installiert. Da die Stromnetze in Gebäuden meist nicht nach Verbrauchergruppen aufgeteilt sind, war die separate Führung der Stromleitungen für die Beleuchtung mit einem installationstechnischen Mehraufwand verbunden. Während eines Jahres wurde der Energieverbrauch aufgezeichnet. Im 5-Minuten-Takt abgespeichert, ergaben sich rund 100 000 Messwerte, die analysiert und interpretiert werden mussten. In der Grafik sind Wochenwerte dargestellt – gut ersichtlich sind der Energieverbrauchsrückgang während den Schulferien, ferner die saisonalen und witterungsbedingten Unterschiede.

Der Vergleich von Berechnung und Messung zeigt ein erstaunliches Ergebnis: Die Zahlen sind über das Jahr gesehen praktisch identisch. Aufgrund dieser Genauigkeit ist davon auszugehen, dass der Zufall bis zu einem gewissen Grad mitgespielt hat. Dennoch zeigen die Zahlen, dass das Rechenmodell der Norm SIA 387/4 sehr genaue Berechnungen erlaubt.

Projekt-Team

Auftraggeber: Stadt Zürich, Amt für Hochbauten

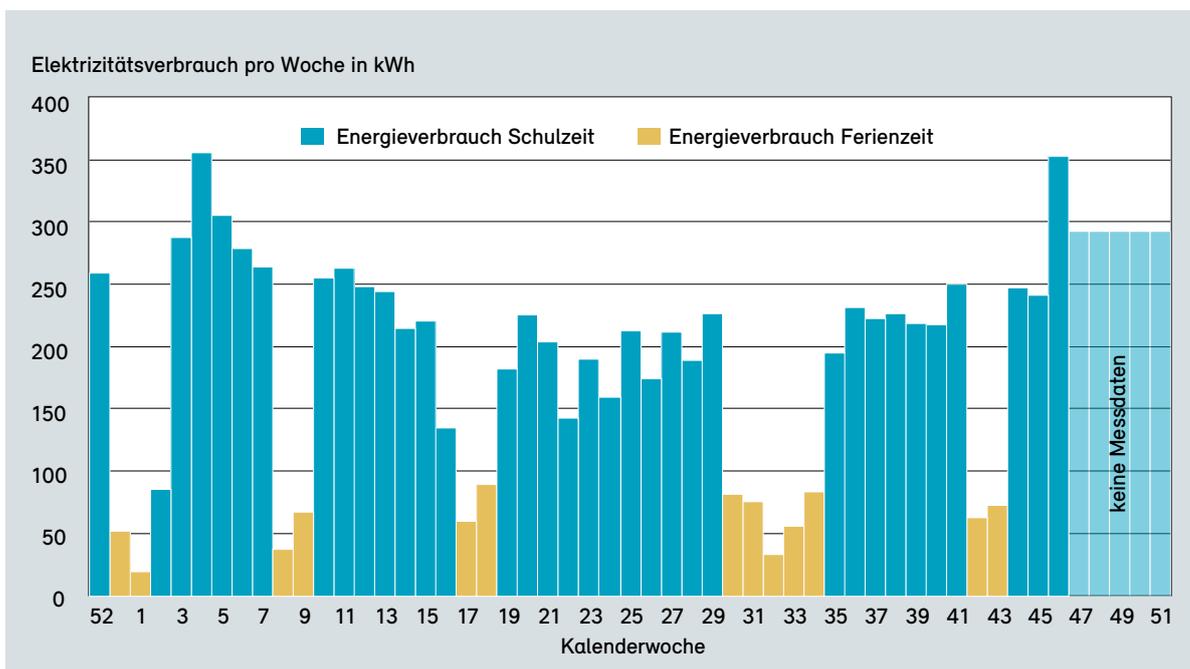
Architekten: Horisberger Wagen Architekten

Elektroplaner: Walter Salm, Meier & Partner AG

Messungen: elight GmbH

Tabelle 4: Vergleich Messung – Berechnung

		Messwert	Rechenwert
Energieverbrauch	MWh/a	10,2	10,1
	kWh/m ²	3,9	3,9
Installierte Leistung	kW	8,4	10,9
	W/m ²	3,2	4,2
Volllaststunden	h/a	1220	922
Beleuchtete Fläche	m ²	2597	2597



Messung des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung im Schulhaus Bläsi.

Weitere Infos

Minergie Schweiz

Minergie ist seit 1998 der Schweizer Standard für Komfort, Effizienz und Werterhalt. Das Qualitätslabel für Neubauten und Modernisierungen umfasst alle Gebäudekategorien. Die Ziele sind höchster Wohn- und Arbeitskomfort, tiefer Wärme- und Stromverbrauch und langfristige Werterhaltung. Im Fokus stehen eine hochwertige Gebäudehülle, ein kontrollierter Luftwechsel und eine effiziente Versorgung mit erneuerbaren Energien.

Das Label umfasst die drei Standards Minergie, Minergie-P und Minergie-A sowie den Zusatz ECO. Dabei steht Minergie-P für Niedrigstenergie-Gebäude und Minergie-A für Plusenergie-Gebäude. Der Zusatz ECO lässt sich mit allen Standards kombinieren und bezeichnet Gebäude, bei denen auch bauökologische und gesundheitliche Aspekte berücksichtigt sind. Damit deckt Minergie wichtige Kriterien des nachhaltigen Bauens ab: Komfort, Werterhaltung, Energieeffizienz, Bauökologie und Gesundheit. Zwei Zusatzprodukte sichern die Qualität in Bau und Betrieb. Das Label eignet sich sowohl für innovative Pionierbauten wie auch für die breite Marktdurchdringung. Auf www.minergie.ch finden Sie weiterführende Informationen und Broschüren zu den Baustandards und Zusatzprodukten von Minergie.



Fachpublikationen

Fachbuch «Licht im Haus»,
(2012, Neuauflage: 2019,
ISBN: 978-3-905711-15-8).
Zu bestellen bei: Faktor Verlag,
Zürich, info@faktor.ch,
www.faktor.ch.

Kostenfreier Download unter
www.energieschweiz.ch → Aus- &
Weiterbildung → Bildungswege im
Energiebereich → Publikationen.

Websites

Weitere Informationen findet man auf folgenden Websites:

- www.toplicht.ch: Liste der zertifizierten Minergie-Leuchten und Lichtkompendium
- www.topten.ch: die besten Lampen und Wohnraumleuchten
- www.energieeffizienz.ch: Webseite der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz
- www.slg.ch: Schweizerische Lichtgesellschaft (Richtlinien, Weiterbildungsangebote)
- www.fvb.ch: Fachverband der Beleuchtungsindustrie
- www.relux.com: Download von Software für die Beleuchtungsplanung (inkl. Relux EnergyCH, Energienachweis für Minergie und Norm SIA 387/4)
- www.lighttool.ch: einfacher Energienachweis nach SIA 387/4 und Minergie, ab 2019
- www.efeled.ch: Förderprogramm für effiziente Beleuchtung in Projekten ab 2000 m²
- www.minus60.ch: Förderprogramm für effiziente Beleuchtung in Projekten unter 2000 m²
- www.stadt-zuerich.ch/egt → Vorgaben

Minergie Schweiz
Bäumleingasse 22
4051 Basel

061 205 25 50
info@minergie.ch

www.minergie.ch



Die Minergie Leadingpartner

Publikations-Partner



always the
best climate



zumtobel group